Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 17, No. 1, Apr. May. 2021, p. 13- 27

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۷، شماره ۱، فروردین-اردیبهشت ۱۴۰۰ ص.۲۷-۱۳

مقاله علمی- پژوهشی

مطالعه خصوصیات فیزیکوشیمیایی آرد سه واریته کینوا (*Quinoa*) و بررسی اثر pH بر ویژگی‌های عملکردی آن

مسعود تقی‌زاده[1*]- حسام آخوندزاده[2]- زهرا زمانی[2]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۵/۱۶
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۰/۲۵

چکیده

حبوبات و غلات به علت پراکندگی کشت و گستردگی مصرف، بخش مهمی از غذای انسان را تشکیل می‌دهند، اما در این بین فقط چند خانواده خاص با اختلاف در سراسر جهان مصرف می‌شوند. یکی از این دانه‌ها گندم است که با ویژگی‌های منحصر به فرد خود در سازگاری کشت و خواص عملکردی، سهم به‌سزایی از سفره جوامع بشری به‌خود اختصاص داده است.از سال ۲۰۱۱ میلادی کینوا به‌عنوان یکی از مهم‌ترین شبه غلات در دنیا مطرح شد به‌طوریکه سال ۲۰۱۳ را به‌عنوان سال بین‌المللی کینوا نام‌گذاری نمودند، این دانه که حائز ویژگی‌های منحصر به فردی در کشت و عمل‌آوری است در سراسر جهان مورد توجه قرار گرفته است. از مهم‌ترین ویژگی‌های مطلوب این دانه خواص شیمیایی و عملکردی آن در مقایسه با دانه‌های مشابه است. در این پژوهش ضمن اندازه‌گیری خواص شیمیایی سه واریته پر کاربرد کینوا (سفید، قرمز و سیاه)، نتایج حاصل، با خواص دانه‌های مشابهی همچون عدس، نخود، جو، گندم، برنج، گاودانه، لوبیا سودانی و شنبلیله نیز مقایسه شده‌اند که مشخصاً میزان چربی در واریته قرمز، میزان کربوهیدرات و خاکستر در واریته سفید و میزان رطوبت و چربی در واریته سیاه بیش از دو واریته دیگر بود. در مقایسه با سایر دانه‌ها نیز چربی در کینوا مشابه گندم و بیش از برنج و جو بود. در زمینه خواص عملکردی نیز باید اشاره نمود که کمینه میزان حلالیت پروتئین در pH= ۴/۵ (که نقطه ایزو الکتریک پروتئین‌هاست) و بیشینه این مقدار، در pH= ۹ مشاهده گردید. همچنین محاسبات نشان داد جذب آب و روغن در آرد این دانه بسیار بالا است. بیشینه مقدار مشاهده شده در اندازه گیری کف کنندگی و پایداری آن، در pH=۶ و واریته سفید بود و حداکثر پایداری نیز در زمان ۳۰ دقیقه ثبت شد. در انتها نیز نتایج حاصل از بررسی خاصیت امولسیون‌کنندگی و پایداری امولسیون نشان داد، بیشینه این ویژگی در pH= ۹ در واریته سفید و بهینه‌ترین زمان پایداری نیز، ۳۰ دقیقه در همین واریته است.

واژه‌های کلیدی: آرد کینوا، خصوصیات فیزیکوشیمیایی، pH، خصوصیات عملکردی

مقدمه

سوء تغذیه ناشی از کمبود پروتئین و انرژی از مهم‌ترین مشکلات موجود در کشورهای در حال توسعه می‌باشد. به علت کمبود منابع پروتئین حیوانی، تلاشی بی‌وقفه جهت یافتن منابع جدید پروتئینی و برخورداری از هر دو ویژگی خواص عملکردی و ارزش تغذیه‌ای آن‌ها صورت می‌گیرد (kanu *et al*,2007). امروزه پروتئین‌های گیاهی نقش مهمی در تغذیه جوامع بر عهده دارند، استفاده راهبردی از منابع ارزان قیمت گیاهی سرشار از پروتئین می‌تواند باعث بهبود وضعیت تغذیه‌ای شود (Mashayekh *et al*,. 2008). در سال‌های اخیر، کینوا به علت درصد پروتئین و ارزش غذایی بالای آن مورد توجه قرار گرفته است .دانه کینوا متعلق به خانواده *Chenopodiaceae*؛ جنس *Chenopodium* و گونه*Quinoa* است (Dallagnol *et al*., 2013). محل اصلی کشت آن کشورهای آمریکای جنوبی ازجمله کلمبیا، اکوادور، پرو، بلیوی، آرژانتین و شیلی می‌باشد و به‌عنوان شبه غله شناخته می‌شود (Berghofer &Schoenlechner, 2010). ارزش غذایی بسیار بالای دانه کینوا باعث شده که سازمان خواربار جهانی (FAO) آن را با شیر خشک مقایسه نموده و مولتی ویتامین یا خاویار گیاهی بنامد (FAO, quinoa, 2011). همچنین مطابق یافته‌های علمی مشخص شده است، دانه کینوا دارای ارزش پروتئینی بالایی هست (Ferreira *et al*,. 2015)و می‌تواند به‌عنوان یک جایگزین عالی برای برنج به‌حساب آید (Oelk *et al*,. 1992). پروتئین موجود در کینوا از معدود پروتئین‌های غیرحیوانی است که از نظر کمی و کیفی بهتر از دانه دیگر غلات است و میزان پروتئین آن دو برابر گندم هست (Lilian, 2009). دانه کینوا مقدار لیزین بیشتری از گندم دارد

۱ و ۲- به‌ترتیب استادیار و دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.
(* - نویسنده مسئول: Email: mtaghizadeh@um.ac.ir)
DOI: 10.22067/ifstrj.v17i1.82383

و از نظر میزان اسیدهای آمینه تعادل بهتری برای تغذیه انسان و دام دارد (Sepahvand *et al*,. 2010). عدم وجود گلوتن در آرد این دانه آن را برای مصرف بیماران سلیاکی و کسانی که به گلوتن حساسیت دارند نیز امکان‌پذیر نموده است. علت این امر سرعت بالاتر هیدرولیزپروتئین‌های کینوا توسط اسیدلاکتیک باکتری‌ها نسبت به هیدرولیز پروتئین گندم است (Dallagnol *et al*,. 2013). همچنین باید توجه داشت آرد کینوا به‌خوبی به‌عنوان نشاسته کشدار در ترکیب با آرد گندم، ذرت، برای تهیه بیسکویت و یا فرآوری غذا استفاده می‌شود (سپهوند و همکاران، ۱۳۸۹). محتوای ترکیبات معدنی ازجمله آهن، منیزیم، فیبر، پتاسیم و روی، ویتامین‌هایی نظیر گروه B و E و اسیدآمینه ضروری لیزین موجب توجه به استفاده از این دانه شده است (Lilian,2009). با توجه به محتوای ترکیبات دانه کینوا، مانند فیبرهای مغذی، اسیدهای آمینه ضروری، میزان بالای اسید لینولئیک و دیگر ریز مغذی‌ها، آردهای حاصل از دانه کینوا می‌تواند از نظر ویژگی‌های عملکردی و قابلیت استفاده در صنعت غذا مورد ارزیابی قرار گیرد. ویژگی عملکردی، خصوصیات فیزیکوشیمیایی هستندکه بر رفتار محصولات غذایی طی فرآوری، تولید، نگهداری وآماده‌سازی تأثیر می‌گذارند. از مهم‌ترین ویژگی‌های عملکردی می‌توان به ظرفیت جذب ونگهداری آب و روغن، حلالیت، ژله‌ای شدن، ویژگی‌های بین سطحی،تشکیل فیلم وکف‌کنندگی اشاره کرد (عامری شهرابی وهمکاران،۱۳۹۰; Kaur and Singh, 2007). عوامل مختلفی نظیر نوع منبع پروتئینی، فرآیند تولید آرد و یا ایزوله پروتئینی، همچنین نوع ترکیبات مرتبط با شبکه پروتئینی مثل لیپید، کربوهیدرات و هرگونه عامل فیزیکوشیمیایی همچون دما، غلظت نمک و pH سبب تغییر در خواص عملکردی پروتئین می‌شود (Alukoand Yada, 1995). از آنجا که ایران کشوری با تنوع آب و هوایی فراوان و جمعیت رو به افزایش است. تامین نیاز غذایی مردم با استفاده از پتانسیل های تولید کشاورزی از الزامات کشور است (سپهوند و همکاران، ۱۳۸۹). هدف از این پژوهش بررسی ویژگی‌های شیمیایی و عملکردی آرد سه واریته سفید، قرمز و سیاه دانه کینوا و بررسی تأثیر pH بر ویژگی‌های عملکردی آن‌ها می‌باشدتا از این‌گذر بتوان ضمن مقایسه این دانه با سایر شبه غلات رایج، منبع جدیدی را به محققان معرفی نمود و ضمنا تصمیم‌گیری در خصوص جایگزینی و بهینه‌سازی مصرف این دانه تسهیل نمود که یقینا گامی مهم در افزایش امنیت غذایی خواهد بود. باید توجه داشت که آرد کینوا می‌تواند به‌عنوان یک جایگزین بالفعل جهت تهیه نان، همواره مدنظر قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

سه واریته دانه کینوا (سفید، قرمز و سیاه) وارداتی از کشور پرو که در سال ۲۰۱۷ میلادی بسته‌بندی شده بودند، به میزان لازم مطابق مشخصات جدول ۱ تهیه شده و پس از تمیزکردن، مواد زائد و خارجی آن حذف شد و لازم به ذکر است که دانه‌ها از قبل پوست‌گیری شده بودند. سپس توسط آسیاب نیمه صنعتی موجود در پایلوت تحقیقاتی گروه علوم و صنایع غذایی دانشگاه فردوسی مشهد به آرد با درصد استخراج ۹۶، تبدیل و از الک با مش ۷۵ عبور داده شد. آرد الک شده، تا مرحله بررسی خواص عملکردی در دمای یخچال (۴ درجه سانتی‌گراد) نگهداری گردید.

جدول ۱- مشخصات واریته دانه کینوا

واریته	نام علمی	نام شناسایی
سیاه	BLACK COLLANA	INIA 420
سفید	SALCEDO INIA	
قرمز	PASANKALLA	INIA 415

تعیین ترکیبات شیمیایی، شاخص رنگی و خواص عملکردی آرد

به‌منظور تعیین ترکیبات شیمیایی (درصد رطوبت، چربی، پروتئین و خاکستر) مطابق استاندارد انجمن شیمی ایالات متحده اندازه‌گیری انجام شد (AACC, 2003). محاسبه میزان کربوهیدرات نیز از طریق کسر درصد کلیه ترکیبات از ۱۰۰ انجام شد، کلیه آزمون‌ها با دو تکرار انجام گرفتند.

بررسی مؤلفه‌های رنگ

در این تحقیق از سیستم ماشین بینایی به‌طور شبیه‌سازی شده استفاده شد. به این صورت که از یک جعبه مستطیلی ابعاد۵۰ ×۵۰ ×۷۵ سانتی‌مترمکعب به‌عنوان سکوی تصویربرداری استفاده شد.برای تصویر برداری ازدوربین دیجیتال ۱۲مگاپیکسل (canon، 1000D) استفاده شد. سیستم نورپردازی از چهار لامپ فلورسنت (۱۰ واتی به طول ۴۰ سانتی‌متر) تشکیل شده بود نور با زاویه ۴۵ درجه به نمونه تابیده شد. تصویربرداری با دوربین دیجیتالی در فاصله ۲۱/۵ سانتی‌متری نمونه انجام شد. که این روش با اندکی تغییرات مطابق استاندارد بود. برای کالیبره کردن سیستم از یک کاشی سفید رنگ که مقادیر پارامترهای رنگی *L *a *b آن توسط تولیدکننده مشخص شده بود، استفاده شد. مؤلفه*L بیانگر درجه روشنی نمونه هست که می‌تواند مقادیر صفر تا ۱۰۰ را به‌خود اختصاص دهد. مؤلفه*a گستره رنگ سبز (مقادیر منفی) تا رنگ قرمز (مقادیر مثبت) و مؤلفه*b نیز گستره رنگ آبی (مقادیر منفی) تا رنگ زرد (مقادیر مثبت) را در بر می‌گیرد، و به‌منظور بررسی مؤلفه‌های رنگ، نمونه‌ها در یک پلیت شیشه‌ای با قطر ۵۸ میلی‌متر و عمق ۱۵ میلی‌متر قرار گرفتند.

حلالیت پروتئین

میزان حلالیت پروتئین آرد حاصله در مقادیر pH بین ۳ تا ۹ با استفاده از روش بیورت تعیین شد (Owusu-Apenten, 2002). ابتدا محلول ۱/۵ درصد در آب مقطر تهیه شد و به‌منظور بررسی اثر تغییرات pH، تنظیمpH به کمک اسیدکلریدریک و یا هیدروکسید سدیم ۰/۵ مولار صورت گرفت. محلول به مدت ۳۰ دقیقه به کمک همزن مغناطیسی، در دمای اتاق همزده شد. نمونه‌ها در ۵۰۰۰×g به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفوژ گردید تا فاز معلق جدا شود. میزان پروتئین موجود در فاز معلق، با استفاده از روش بیورت از طریق مخلوط کردن ۱میلی‌لیتر از نمونه با ۴ میلی‌لیتر معرف بیورت و سپس ۲۰ دقیقه قرار دادن در دمای اتاق و به کمک اسپکتروفتومتر (مدلیووی، ۲۱۵۰، یونیکو)تعیین گردید. جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۴۰ نانومتر اندازه-گیری شد. منحنی کالیبراسیون با استفاده از محلول سرم آلبومین گاوی، در غلظت‌های صفر تا ۱۰ (میلی‌گرم/ میلی‌لیتر) در معرف بیورت با نسبت ۱ به ۴ رسم گردید.

ظرفیت جذب آب و روغن

برای اندازه‌گیری ظرفیت جذب آب و روغن آرد از روش Kaur and Singh (۲۰۰۷) با اندکی تغییرات استفاده شد؛ یک گرم آرد داخل یک فالکون توزین شد و ۱۰ میلی‌لیتر روغن آفتابگردان یا آب مقطر به آرد اضافه گردید و به مدت ۲ دقیقه با استفاده از ورتکس (بهسان، ایران) مخلوط شد. نمونه‌ها پس از ۳۰ دقیقه نگهداری در دمای اتاق، به مدت ۲۰ دقیقه با سرعت ۳۰۰۰×g سانتریفوژ شدند. بخش مایع فوقانی دور ریخته شد و نمونه‌ها مجدداً توزین شدند. ظرفیت پیوند با آب و چربی به‌صورت گرم آب و یا روغن جذب شده به ازای یک گرم آرد و بر حسب درصد گزارش گردید.

ظرفیت کف‌کنندگی و پایداری کف

ظرفیت کف‌کنندگی با تهیه محلول ۲ درصد آرد در آب مقطر و بر اساس روش Adebowale و همکاران (۲۰۰۵) تعیین شد. به‌منظور بررسی اثر تغییرات pH بر ظرفیت کف‌کنندگی آرد، pH محلول با استفاده از اسیدکلریدریک ۰/۵ نرمال و یا هیدروکسید سدیم ۰/۵ مولار، در مقادیر۴/۵، ۶ و ۹ تنظیم شد. محلول حاصل در pH مورد نظر به مدت ۵ دقیقه توسط همزن مغناطیسی با دور ۳۶۰rpm همزده شد و سپس به فالکون یا استوانه مدرج منتقل گردید تا حجم محلول قبل از همزدن اندازه‌گیری شود (V_0). محلول به مدت ۲ دقیقه با دستگاه اولتراتوراکس (مدلتی ۲۵ دیجیتال، آیکیا، آلمان) با دور ۱۰۰۰۰rpmهمزده شد و بلافاصله حجم کف ثبت شد (V_1). میزان ظرفیت کف‌کنندگی با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید:

درصد ظرفیت کف‌کنندگی= $(V_1/V_0) \times ۱۰۰$ (۱)

پایداری کف، به‌صورت میزان کاهش ارتفاع کف پس از ۳۰، ۶۰ و۹۰ دقیقه مخلوط کردن بررسی می‌شود. برای این منظور حجم کف باقیمانده در زمان مورد نظر (V_2) ثبت می‌گردد و پایداری کف با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

درصد پایداری کف= $(V_2 / V_1) \times ۱۰۰$ (۲)

ظرفیت امولسیون‌کنندگی و پایداری امولسیون

ظرفیت امولسیون‌کنندگی و پایداری امولسیون به روش مجذوبی و همکاران (۲۰۱۲) با اندکی تغییرات اندازه‌گیری شد؛ برای این منظور محلول ۲ درصد آرد در آب مقطر تهیه گردید و سپس به‌منظور بررسی اثر تغییرات pH بر ظرفیت امولسیون‌کنندگی آرد، pH در مقادیر ۴/۵، ۶ و۹ با استفاده از اسیدکلریدریک و یا سود ۰/۵ مولار تنظیم شد. پس از آن ۵ میلی‌لیتر روغن آفتابگردان به محلول اضافه گردید و محلول حاصل در pH مورد نظر به مدت ۳ دقیقه با استفاده از دستگاه اولتراتوراکس (مدلتی ۲۵ دیجیتال، آلمان) درrpm ۱۰۰۰۰ هموژن و ارتفاع کل محتویات امولسیون شده ثبت شد (H_0). امولسیون حاصل در ۱۱۰۰×g به مدت ۵ دقیقه سانتریفوژ شد و دوباره ارتفاع لایه امولسیون باقیمانده ثبت شد. (H_1) ظرفیت امولسیون‌کنندگی (EC) با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید.

درصد ظرفیت امولسیون‌کنندگی= $(H_1/H_0) \times ۱۰۰$ (۳)

همچنین برای محاسبه پایداری امولسیون، نمونه‌ها پس از هموژنیزاسیون با اولتراتوراکس و قبل از سانتریفوژدر زمان‌های ۳۰ و ۶۰ دقیقه در بن ماری با دمای۸۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. بدین ترتیب پایداری امولسیون در هر pH اندازه‌گیری شد.

(۴) ۱۰۰×(ارتفاع لایه امولسیون قبل از حرارت/ارتفاع لایه امولسیفیه بعد از حرارت)= درصد پایداری امولسیون

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

تمام آزمون‌ها در دو تکرار انجام گرفتند. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها به‌منظور بررسی اثر تغییرات pH بر خواص عملکردی آرد با استفاده از طرح کاملاً تصادفی و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح اطمینان ۹۵درصد صورت گرفت، نتایج به‌دست آمده با استفاده از نرم‌افزار SPSS (نسخه ۲۲) تجزیه وتحلیل شدند و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار اکسل (Excel, 2010) استفاده شد.

نتایج و بحث

ترکیب شیمیایی

ترکیب شیمیایی آرد سه واریته کینوا در جدول ۲ وآردهای سایر حبوبات وغلات در جدول ۳ نشان داده شده است:

جدول۲- ترکیب شیمیایی آرد سه واریته کینوا

واریته	پروتئین	رطوبت	چربی	خاکستر	کربوهیدرات
سیاه	۱۶/۸۱±۰/۰۵۴	۸/۸۲±۰/۰۰۵	۵/۴±۰/۴۵	۲/۱±۰/۹۹۸	۶۶/۰±۰/۴۶
سفید	۱۳/۱۱±۰/۱۸۲	۸/۳۶±۰/۰۵۴	۳/۹±۰/۲۹	۳/۱۶±۰/۹۹۷	۷۱/۰±۰/۵۴
قرمز	۱۳/۹۵±۰/۰۲۸	۸/۷۸±۰/۰۲	۵/۷±۰/۱	۲/۶±۰/۹۹۶	۶۸/۰±۰/۲۸

*میانگین ۲ تکرار±انحراف معیار

جدول ۳- درصد ترکیبات شیمیایی آرد حبوبات و غلات مختلف

نوع آرد	پروتئین	رطوبت	چربی	خاکستر	کربوهیدرات	منبع
دانه نخودسبز (فرنگی)	۲۵/۰±۶/۸۴	_	۱/۰±۸۶/۰۹	۳/۰±۱۰/۱۸	_	Kaur and Singh, 2007
لوبیای سودانی	۲۴/۶۷	_	۰/۰±۸۷/۰۸	۳/۰±۳۱/۱۹	_	Kaur and Singh, 2007
آرد عدس	۳۸/۹۸	۸/۳۰	۲/۴۳	۲/۹۵	_	اسدپور و همکاران، ۱۳۹۰
آرد نخود	۴۳/۴۳	۵/۱۱	۵/۱۷	۳/۱۰	_	اسدپور و همکاران، ۱۳۹۰
آرد لوبیا قرمز	۳۲/۷۰	۸/۱۰	۱/۶۰	۴/۰۸	_	اسدپور و همکاران، ۱۳۹۰
آرد بدون پوسته گاودانه	۲۶/۰±۹۸/۱۶	۱۰/۰±۵۳/۱۲	۱۰/۰±۱۲/۲۴	۳/۰±۳۳/۱۶	۶۱/۰±۴۸/۴۶	تقی زاده و همکاران،۱۳۹۶
آرد شنبلیله	۳۴/۷±۰/۱۴	۷/۳۳±۰/۰۹	۵/۷۶±۰/۰۸	۵/۱۷±۰/۹	۵۹/۵۳±۰/۰۶	فیضی و همکاران،۱۳۹۲
آردگندم	۱۴/۳	۲/۸	۲/۳	۲/۲	۷۸/۴	Jancurová *et al*,2009
آرد برنج	۷/۶	۶/۴	۲/۲	۳/۴	۸۰/۴	Jancurová *et al*,2009
آرد جو	۱۰/۸	۴/۴	۱/۹	۲/۲	۸۰/۷	Jancurová *et al*,2009

*میانگین ۲ تکرار±انحراف معیار

مقدار درصد پروتئین در آرد واریته سیاه کینوا بیشتر از آردهای واریته قرمز و سفید بود. و مقدار پروتئین در آردهای سفید و قرمز تقریباً با هم برابر است. همان‌طور که در جدول ۳ و ۲ مشاهده می‌شود مقدار پروتئین آرد کینوا در مقایسه با سایر حبوبات به‌جز لوبیای سودانی کمتر ولی در مقایسه با آرد غلات از آرد برنج و جو بیشتر و تقریباً مشابه آرد گندم هست. مقدار درصد چربی در آرد قرمز کینوا نسبت به ۲ واریته دیگر بیشتر بود، همچنین مقدار درصد چربی در آرد سه واریته کینوا بیشتر از مقادیر گزارش شده برای این دانه‌ها در نتایج اسدپور و همکاران(۱۳۹۰) و مقدار گزارش شده درصد چربی آردهای گندم، برنج و جو (Jancurová *et al*, 2009) بوده است. درصد چربی دو واریته قرمز و سیاه آرد کینوا مشابه آرد شنبلیله (فیضی و همکاران،۱۳۹۲) هست. البته نقش کیفیت پروتئین در ویژگی‌های عملکردی بالاتر از کمیت آن است و میزان بالای پروتئین دلیل بر بهتر بودن ویژگی‌های عملکردی آن نیست بلکه به سایر ترکیبات موجود در نمونه نظیر چربی و کربوهیدرات نیز وابسته است. علاوه بر این، کیفیت و آرایش فضایی پروتئین و میزان اسیدهای آمینه آب‌دوست و آب‌گریز از شاخص‌های اصلی در تعیین ویژگی‌های عملکردی می‌باشند (اسدپور و همکاران، ۱۳۹۰؛ Boye *et al*, 2010).

بررسی پارامترهای رنگ

یکی از پارامترهای مهم در مورد آرد و فرآورده‌های پروتئینی نظیر کنسانتره و ایزوله پروتئینی، رنگ آن‌هاهست. پارامتر L^* نشان‌دهنده درجه روشنی هست و مقادیر صفر تا ۱۰۰ را می‌تواند به‌خود اختصاص دهد، هر قدر میزان L^* بیشتر باشد نشان‌دهنده روشن‌تر بودن رنگ است (Kaur and Singh Sandha, 2010).

با توجه به مقادیر گزارش شده در جدول ۴ مؤلفه*L در آرد کینوا واریته سفید بیش از بقیه است که نشان‌دهنده روشن‌تر بودن این آرد در مقایسه با دو واریته دیگر است. پارامترهای*a و*b به‌ترتیب درآرد واریته سفید و آرد واریته سیاه بیشترین مقدار را به‌خود اختصاص داده‌اند.

جدول ٤- پارامترهای رنگ آرد گاو دانه

پارامتررنگ / نمونه	L*	a*	b*
آرد کینوا واریته سفید	۹۳/۷۵۸	-۶/۷۵۰	-۲/۷۱۴
آرد کینوا واریته قرمز	۸۴/۴۷۸	-۴/۲۲۶	-۱/۷۱۳
آرد کینوا واریته سیاه	۸۸/۱۷۵	-۵/۵۰۴	-۵/۶۸۴

جدول ٥- پارامترهای رنگ آردهای مختلف

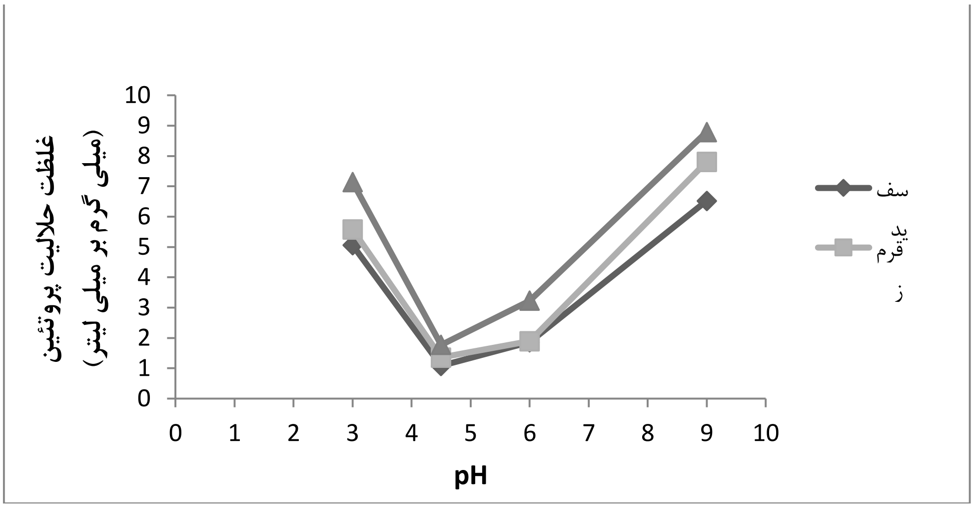
پارامتررنگ / نمونه	L*	a*	b*	منبع
آرد عدس	۹۱/۴	-۱/۱۵	۸/۴	شکراللهی و همکاران، ۱۳۹۲
آرد شنبلیله	۷۸/۹۱	-۱/۰۷	۲۹/۸۳	فیضی وهمکاران، ۱۳۹۲
آرد سویا	۸۷/۲۶	-۰/۳۳	۲۲/۸۱	فیضی وهمکاران، ۱۳۹۲
آرد نخود	۸۶/۳۸	۲/۹۶	۱۹/۸۷	Joshi et al, 2015
آرد گاو دانه بدون پوسته	۸۸/۲	۲/۱۲	۲۲/۲	تقی زاده و همکاران،۱۳۹۶

در جدول ۵ مؤلفه‌های رنگی آرد برخی دانه‌ها گزارش شده است که با مقایسه نتایج حاصل ازاین پژوهش با مقادیرگزارش شده می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که آردکینوا واریته سفید، از نظر روشنایی تقریباً مشابه آرد عدس بوده و آرد کینوا سیاه تقریباً مشابه آرد سویا است، همچنین آرد کینوا قرمز تقریباً مشابه آرد نخود مشاهده شد، همه واریته‌های آرد کینوا از آرد شنبلیله روشن‌تر بودند. از نظر پارامتر *a آرد حاصل از سه واریته کینوا دارای رنگ سبز و مشابه آردهای عدس، شنبلیله و سویا بود. از نظر پارامتر *b نیز دارای رنگ آبی بودند. دلیل این تفاوت‌ها را در بین آردهای مختلف می‌توان به میزان و نوع ترکیبات تشکیل‌دهنده و همینطور نوع رنگدانه‌های موجود دراین آردها نسبت داد. آردهایی که تا حدی باعث ایجاد رنگ قهوه‌ای شوند جهت تولید نان‌ها و پنکک‌ها مطلوب می‌باشند و آردهایی که به بی‌رنگ شدن محصول کمک کنند در برخی از انواع نان‌ها قابل استفاده هستند (فیضی و همکاران،۱۳۹۲). بر این اساس می‌توان از آرد کینوا در برخی نان‌ها که رنگ روشن‌تر درآن‌ها مطلوب است، استفاده نمود.

حلالیت پروتئین

حلالیت پروتئین به‌عنوان اولین شاخص اندازه‌گیری ویژگی‌های عملکردی پروتئین‌ها مطرح می‌باشد (اسدپور و همکاران، ۱۳۸۹) و به خواص پروتئین و حلال،pH، غلظت و بار الکتریکی یون‌های دیگر و دما بستگی دارد (Vadivel and Janardhanan, 2001). همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود حلالیت پروتئین آرد سه واریته کینوا مورد بررسی در این پژوهش، کاملاً وابسته به تغییرات pH بوده است. در این بررسی شاهد روند U شکل پروفایل حلالیت در محدوده pH، ۹-۳ و گستره وسیعی از حلالیت در این دامنه بودیم. بیشترین میزان حلالیت پروتئین (۸/۷۹ mg/ml) در pH=۹ آرد واریته سیاه کینوا و کمترین میزان حلالیت (۱/۰۸mg/ml) در pH=۴/۵ آرد واریته سفید کینوا مشاهده شد. pH= ۴/۵ نقطه حداقل حلالیت پروتئین‌های موجود بود (شکل ۱).pH بین ۵-۴ در اکثر منابع نقطه حداقل حلالیت گزارش شده است و از طرفی مطالعات بسیاری نشان داده‌اند که پروتئین‌ها دارای حداقل حلالیت در ناحیه ایزو الکتریک می‌باشند (Sathe and Salunkhe, 1981؛Adebowale et al,. 2005). بنابراین pH=۴/۵ را می‌توان به‌عنوان نقطه ایزوالکتریک پروتئین آردهای موجود در نظر گرفت. نکته قابل توجه در نمودار که با نتایج اکثر مطالعات مطابقت دارد، افزایش مقدار پروتئین محلول با کاهش pH از نقطه ایزو الکتریک به سمت pH اسیدی می‌باشد، البته حلالیت در محدوده pH قلیایی بالاتر از اسیدی بود. با افزایش یا کاهش pH از نقطه ایزو الکتریک، دافعه الکترواستاتیک زیاد شده و در نتیجه حلالیت افزایش می‌یابد. همچنین در این حالت میزان زنجیره-های جانبی آب‌گریز کاهش یافته و آب‌گیری یونی به‌ویژه در مقادیر بالاتر pH افزایش می‌یابد (Damodaran, 1996). در مورد آردها

احتمالاً pHهای قلیایی در افزایش گروه‌های هیدروفیل در سطح پروتئین مؤثرتر از pHهای اسیدی عمل کرده‌اند. این یافته‌ها با نتایج گزارش شده توسط سایر پژوهشگران نیز مطابقت دارد (اسدپور و همکاران، ۱۳۸۹؛ فیضی و همکاران، ۱۳۹۲؛ Kaur and Singh, 2007؛ Lawal, 2004؛ Kaur and Singh Sandha, 2010).



شکل ۱- مقادیر پروتئین محلول آرد سه واریته کینوا (سفید، قرمز و سیاه) در مقادیر مختلف pH

ظرفیت جذب آب و روغن

جذب آب را باید مهم‌ترین خصوصیت فیزیکی آردها دانست. این پدیده از یک سو بر ساختمان فیزیکی وخصوصیات ماده غذایی حاوی پروتئین (مثل خشک شدن) و از سوی دیگر بر فساد ماده غذایی، به دلیل تأثیر بر میزان فعالیت آبی اثر می‌گذارد (بخشی مقدم، ۱۳۸۹). ظرفیت نگهداری آب تابعی از میزان پروتئین و فیبر (Kinsella,1979) آرایش فضایی پروتئین، میزان آب‌دوستی وآب‌گریزی پروتئین و همچنین حضور کربوهیدرات‌های آب‌دوست می‌باشد (Seena & Sridhar, 2005). در این پژوهش قابلیت جذب آب سه واریته آرد کینوا سفید، قرمز و سیاه به‌ترتیب به میزان ۱/۲۹۵±۰/۰۱، ۱/۴۷۵ و ۱/۲۸۵ گرم بر گرم آرد اندازه‌گیری شد؛که از ظرفیت جذب آب آرد نخود (۱/۱۹±۰/۰۱) بیشتر بود. همچنین مقادیر حاصل تقریباً برای آرد کینوا سفید و سیاه مشابه آرد عدس (۱/۳۳±۰/۰۲) و برای آرد واریته قرمز مشابه آرد ماراما (۱/۵) بود. این در حالی است که فیضی و همکاران (۱۳۹۲) ظرفیت جذب آب آرد شنبلیله و سویا را به‌ترتیب ۱/۷۵و ۲/۶ میلی‌لیتر بر گرم آرد عنوان کردند. جدول ۵ مقادیر جذب آب در آرد دانه‌های مختلف را نشان می‌دهد.

کاربرد اکثر آردها به میزان زیادی به برهمکنش آرد با آب بستگی دارد زیرا، اولین مرحله برای ایجاد خواص عملکردی مناسب در هر سیستم غذایی، به برهمکنش این مواد با آب در فرآیند آبگیری وابسته است، درنتیجه، ظرفیت جذب آب آردها نقش اساسی در فرآیندهای آماده‌سازی موادغذایی ایفا می‌نماید. میزان آب جذب شده توسط پروتئین‌ها ارتباط نزدیکی با ساختاراسیدهای آمینه آن دارد و تحت تأثیر میزان گروه‌های باردار، آرایش فضایی، آب‌گریزی، pH، دما،قدرت یونی و غلظت پروتئین می‌باشد (موروهمکاران، ۲۰۰۶).

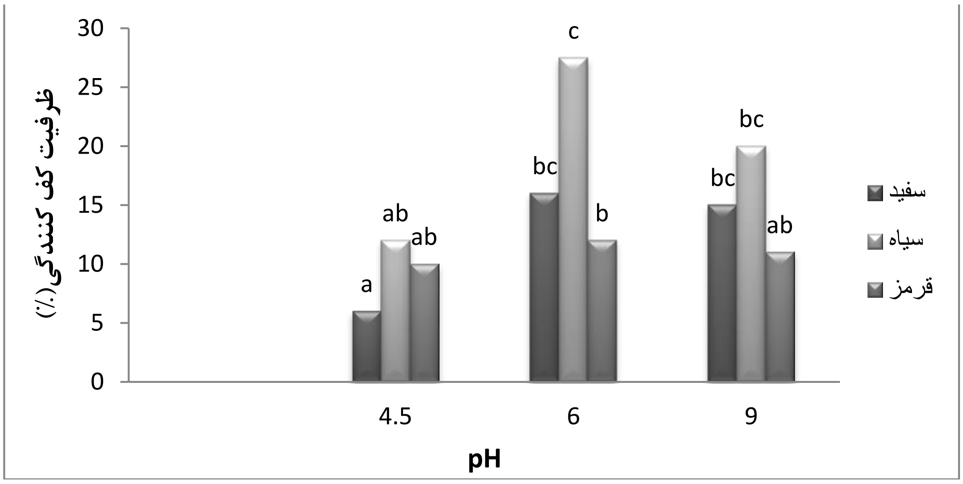
جذب روغن یک پدیده فیزیکی است که تحت عنوان محبوس شدن فیزیکی روغن تعریف می‌شود و آن را به زنجیره‌های غیرقطبی پروتئین و همچنین به شکل فضایی پروتئین نسبت می‌دهند (Kinsella, 1979؛ Kaur and Singh, 2007؛ Trayunham et al, 2007). بالا بودن ظرفیت جذب روغن پارامتر مهمی است که به قابلیت نگهداری عطر و طعم در مواد غذایی و بهبود خصوصیات امولسیون‌کنندگی کمک می‌کند (Kinsella, 1979). ظرفیت جذب روغن سه واریته آرد کینوا سفید، قرمز و سیاه به‌ترتیب به میزان ۱/۴۳۵±۰/۰۱، ۱/۳۹ و ۱/۳۶۵ گرم بر گرم آرد بود. این میزان از مقادیر گزارش شده توسط رواقی و همکاران (۱۳۸۹) برای آردهای سویا با درصد چربی مختلف (۱/۳۰ – ۱/۰۹ گرم/ گرم) و ایزوله پروتئین تجاری سویا (۱/۲۶ گرم برگرم) توسط Amza و همکاران (۲۰۱۱)، نخود (۱/۱۰±۰/۰۲گرم برگرم) و همچنین عدس (۰/۹۳گرم برگرم) بیشتر بود. همانطور که در جدول ۶ مشاهده می‌شود، ظرفیت جذب روغن سه واریته کینوا مورد مطالعه، از مقادیر گزارش شده برای آرد ماراما، شنبلیله، سویا و گاو دانه کمتر بود. همچنین میزان جذب آب و روغن آرد سه واریته کینوا نسبتاً بالا است از این‌رو می‌توان در فرمولاسیون‌هایی مانند نوشیدنی‌ها، سس‌ها، دسرها و سوسیس‌ها از آرد این دانه استفاده نمود.

جدول ٦- ظرفیت جذب آب و جذب روغن آرد حبوبات مختلف

نوع آرد	ظرفیت جذب آب	ظرفیت جذب روغن	منبع
سویا	۴/۳	۱/۸±۰/۱	Maruatona et al, 2010
ماراما	۱/۵	۲/۷±۰/۱	Maruatona et al, 2010
شنبلیله	۱/۷۵ ±۰/۳۵	۱/۷۷ ±۰/۰۳	فیضی و همکاران، ۱۳۹۲
عدس	۱/۳۳±۰/۰۲	۰/۹۳	Du et al, 2012
نخود	۱/۱۹± ۰/۰۱	۱/۱۰±۰/۰۲	Du et al, 2012
گاودانه	۲/۰۱±۰/۰۱	۱/۷۷±۰/۰۳	تقی زاده و همکاران،۱۳۹۶

ظرفیت کف‌کنندگی و پایداری کف

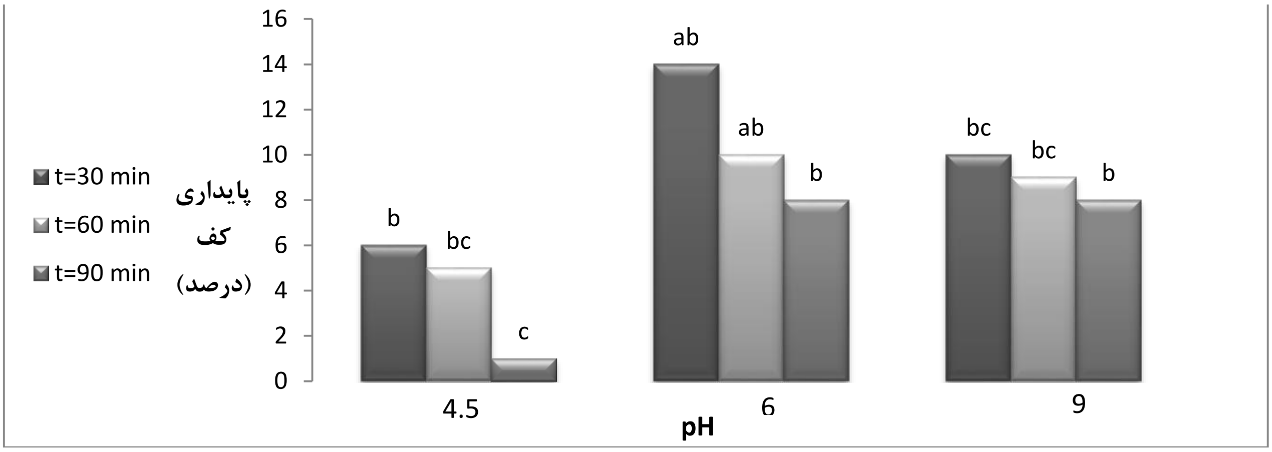
کف در مواد غذایی شامل پراکندگی حباب‌های گاز در داخل یک فاز مایع و یا یک فاز نیمه جامد پیوسته است. خاصیت کف‌کنندگی به‌عنوان درصد افزایش حجم ناشی از "زدن" تعریف می‌گردد و عموماً در ایجاد خصوصیات رئولوژیکی مطلوب در مواد غذایی نظیر بافت نان، کیک، خامه زده شده و بستنی نقش اساسی دارد. پارامتر پایداری کف به توانایی پروتئین برای پایدارسازی کف در برابر استرس‌های مکانیکی و گرانش اطلاق شده و به صورت تغییر در حجم کف درطول یک بازه زمانی خاص (۹۰-صفر) دقیقه تعریف می‌گردد (Oladela & Aina,2007) دلیل ایجاد کف در آرد، وجود پروتئین‌های فعال سطحی است (Kinsella, 1979). قدرت کف-کنندگی آرد سه واریته کینوا در مقادیر مختلف pH در شکل ۲ نمایش داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود قدرت کف‌کنندگی آرد در pH= ۴/۵ کمترین و در ۶ =pHدارای بیشترین مقدار است. دلیل کاهش قدرت کف‌کنندگی در pH= ۴/۵ فشردگی پروتئین‌ها درpH ایزو الکتریک بیان شده است که با نتایج اسدپور و همکاران (۱۳۹۰)، El Nasri و El Tinay (2007) و همچنین Lawal (۲۰۰۴) همخوانی داشت. دور شدن از نقطه ایزو الکتریک و افزایش بار خالص پروتئین، احتمالاً به انعطاف‌پذیری بیشتر پروتئین کمک کرده و مانع برهمکنش‌های هیدروفوب– هیدروفوب بین مولکول‌های پروتئین می‌گردد و باعث می‌شود پروتئین راحت‌تر به سطح بین دو فاز منتقل شده و حباب‌های هوا را محصور نماید و باعث افزایش ظرفیت کف‌کنندگی گردد (اسدپور و همکاران،۱۳۹۰).



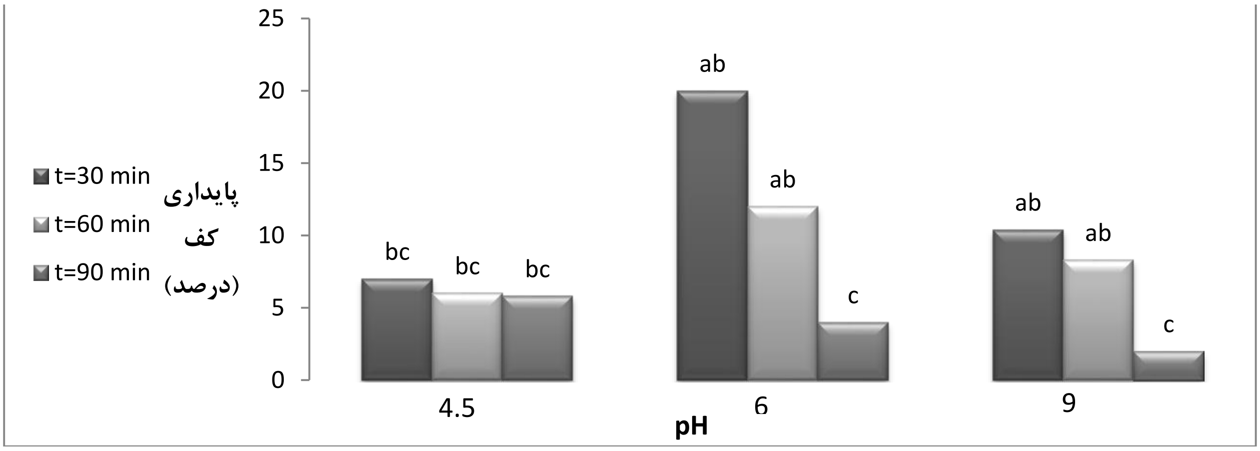
شکل ۲- مقادیر ظرفیت کف کنندگی آرد سه واریته کینوا در مقادیر مختلف pH

پایداری کف حاصل از آرد سه واریته کینوا در ۳ سطح pH و تابعی از زمان در شکل ۳ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، پایداری کف در تمامی سطوح pH با گذشت زمان کاهش می‌یابد. علاوه بر این بیشترین میزان پایداری کف در مورد آرد سه واریته کینوا، در pH=۶ مشاهده گردید. پایداری در pH ایزو الکتریک را می‌توان به صفر بودن برآیند بار الکتریکی در pH، کاهش نیروهای دافعه الکتروستاتیک، افزایش پایداری و استحکام برهم‌کنش‌های هیدروفوب–هیدروفوب بین مولکول‌های پروتئین و در نتیجه ایجاد یک لایه ویسکوز و پایدار اطراف حباب‌های هوا نسبت داد. می‌توان گفت بین قدرت کف‌کنندگی و پایداری کف رابطه معکوسی وجود دارد و آردهایی که قدرت کف‌کنندگی بالایی دارند حباب‌های بزرگ‌تر با دیواره‌ای از فیلم پروتئینی با قدرت انعطاف‌پذیری کمی ایجاد می‌کنند

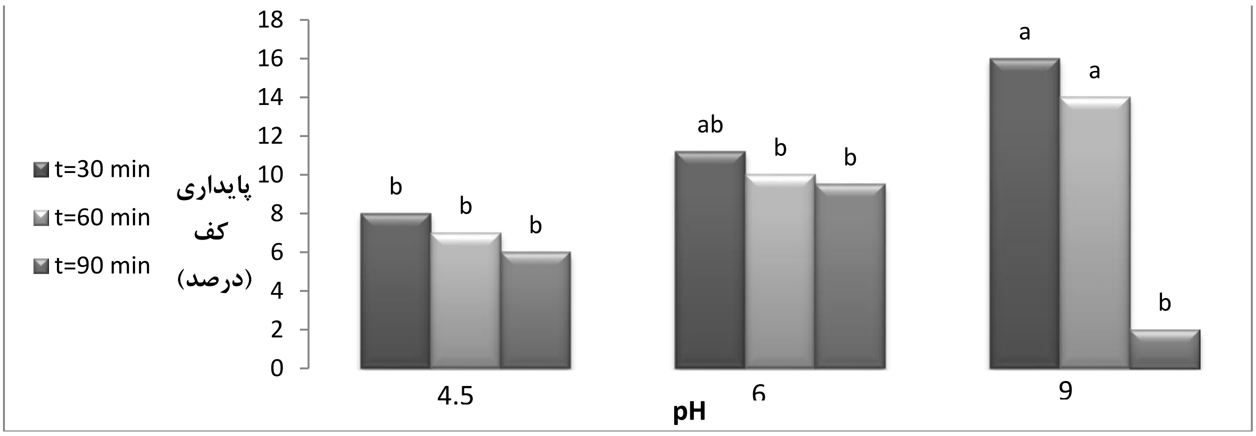
که این کف‌ها سریع‌تر متلاشی می‌شوند و پایداری کمتری دارند. این نتایج با یافته‌های Lawal (۲۰۰۴) در مورد ایزوله پروتئین لوبیای لوکاس، و همچنین اسدپور و همکاران (۱۳۹۰) در مورد آردهای عدس، نخود، لوبیا قرمز و لوبیا چیتی و نیز یافته‌های محققانی نظیر Seena and Sridhar (۲۰۰۵) و Arugandade (۲۰۰۴) نیز هم-خوانی داشت.



شکل ۳- مقادیرپایداری کف آرد واریته سفیدکینوا در مقادیر مختلف pH و زمان



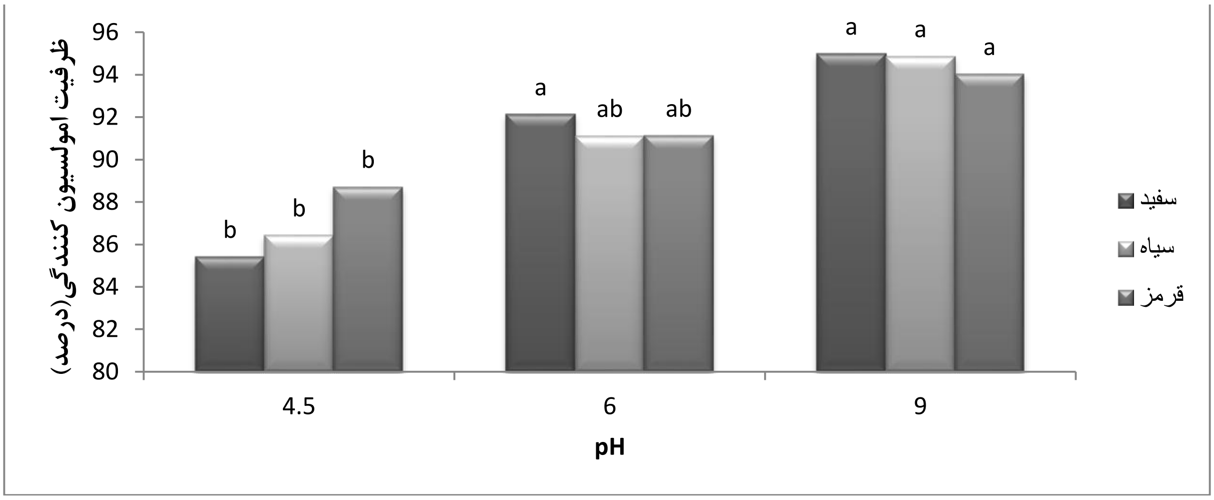
شکل ٤- پایداری کف آرد واریته سیاه کینوا در مقادیر مختلف pH و زمان



شکل ۵- مقادیر پایداری کف آرد واریته قرمزکینوا در مقادیر مختلف pH و زمان

ظرفیت امولسیون‌کنندگی و پایداری امولسیون

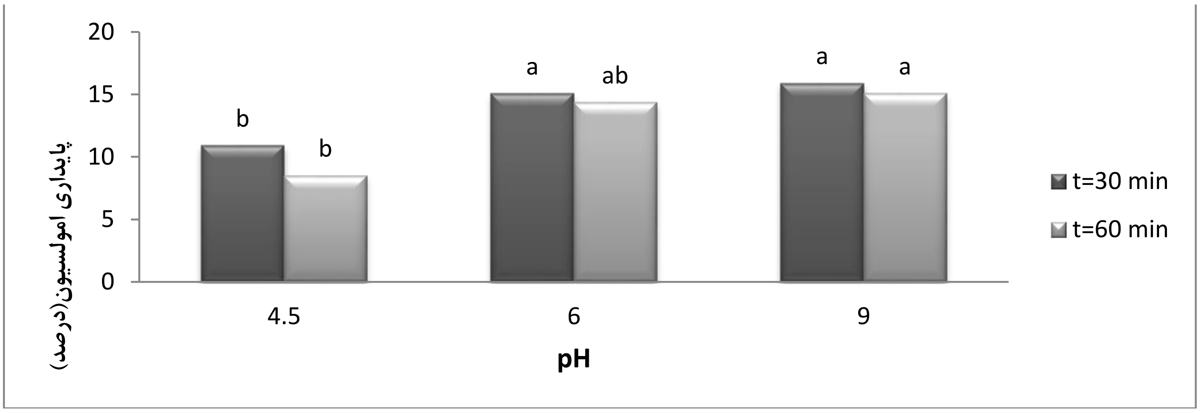
تولید امولسیون و پایداری آن در سیستم‌های غذایی مانند سس‌های سالاد اهمیت زیادی دارد. پروتئین‌ها از اسیدهای آمینه باردار، اسیدهاآمینه قطبی غیرباردار و آمینواسیدهای غیرقطبی تشکیل شده‌اند که به پروتئین ویژگی امولسیفایری می‌بخشند. ظرفیت امولسیون‌کنندگی یک پروتئین کامل به تعادل بخش‌های هیدروفیل‌هیدروفوب بستگی دارد و بنابراین وابسته به pH می‌باشد؛ علاوه بر آن pH قلیایی اثر بیشتری از pH اسیدی دارد (Ragab *et al*,. 2003).با توجه به شکل ۶، کمترین مقدار امولسیون‌کنندگی برای هر سه واریته آرد کینوا در pH=۴/۵ مشاهده شد که نزدیک به pH ایزو الکتریک می‌باشد. این مشاهده با نتایج El Nasri وEl Tinay (۲۰۰۷) در مورد ایزوله پروتئین شنبلیله، Lawal (۲۰۰۴) در مورد ایزوله پروتئین لوبیای لوکاس، تقی‌زاده و همکاران (۱۳۹۶) در مورد آرد گاو دانه و اسدپور و همکاران (۱۳۹۰) در مورد آرد حبوبات مختلف هم‌خوانی داشت. دلیل کاهش ظرفیت امولسیون‌کنندگی در نقطه ایزوالکتریک کاهش حلالیت پروتئین در این نقطه عنوان شده است (فیضی و همکاران، ۱۳۹۲). باید توجه داشت ظرفیت امولسیون‌کنندگی با مقدار پروتئین‌های حل‌شونده در محلول مرتبط است (Ragab *et al*, 2003 ؛El Nasri and El Tinay, 2007). کاهش حلالیت منجر به کاهش سرعت مهاجرت پروتئین به سمت لایه بین سطحی آب و روغن شده و میزان جذب پروتئین در لایه بین سطحی کاهش می‌یابد. به همین دلیل با کاهش غلظت پروتئین در لایه بین سطحی فعالیت امولسیون کنندگی کاهش می‌یابد (Piornos et al, 2015).بیشترین ظرفیت امولسیون کنندگی آرد سه واریته‌یکینوا در pH=۹ مشاهده شده که‌دقیقاً منطبق بر نمودار حلالیت پروتئین (شکل ۱) هست. این نتایج با یافته‌های حاصل از پژوهش اسدپور و همکاران (۱۳۹۰) در مورد آرد لوبیای قرمز و نتایج Adebowale روی آرد سه نوع حبوبات و همچنین نتایج پژوهش تقی‌زاده و همکاران (۱۳۹۶) روی آرد گاو دانه مطابقت دارد. پروتئینی که قابلیت حل‌شوندگی بیشتری دارد به‌سرعت به لایه بین سطحی روغن-آب مهاجرت کرده و ایجاد امولسیون پایدار می‌کند. در pHهای قلیایی شدید نظیر pH=۹ آب‌دوستی سطحی و درنتیجه حلالیت به میزان زیادی افزایش می‌یابد و باعث می‌گردد پروتئین در فاز آبی از پایداری بیشتر و سطح انرژی کمتری برخوردار باشد و باعث کاهش کشش سطحی و افزایش ظرفیت امولسیون‌کنندگی گردد.



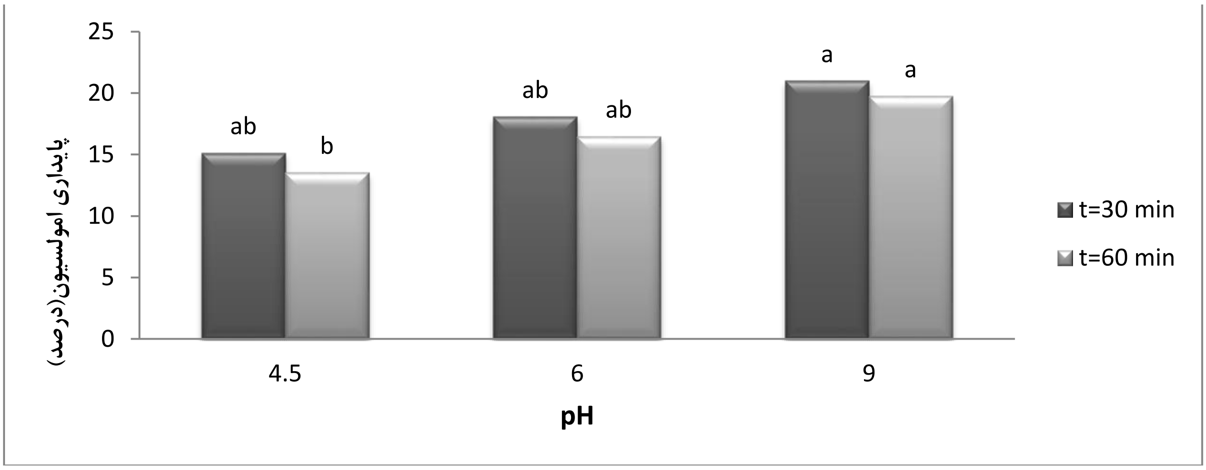
شکل ٦- مقادیرظرفیت امولسیون‌کنندگی آرد سه واریته کینوا در مقادیر مختلف pH

در مورد پایداری امولسیون، اثر زمان‌های ۳۰ و ۶۰ دقیقه بر پایداری امولسیون معنی‌دار بود (P<0.05). همان‌طور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود با گذشت زمان، پایداری امولسیون کاهش می‌یابد که علت این کاهش می‌تواند به‌هم پیوستن ذرات فاز پراکنده (قطرات روغن) در طی زمان باشد. در مورد اثر pH بر پایداری امولسیون‌ها نتایج نشان داد مقادیر پایداری در pH قلیایی بیشتر از pHاسیدی است به‌طوری‌که این پایداری در pH=۹ اختلاف معنی‌داری با سایر pHها دارد. در pH ایزوالکتریک نیروهای دافعه پروتئین ضعیف می‌باشند و ذرات امولسیون تمایل به بهم پیوستگی و انعقاد دارند بنابراین امولسیون پایداری ضعیفی ایجاد می‌کند. Lawal (۲۰۰۴) و فیضی و همکاران (۱۳۹۲) نیز بیان کردند کمترین پایداری امولسیون در نقطه pI است. این پژوهشگر، علت احتمالی کاهش پایداری امولسیون در pI را کاهش بیش از اندازه نیروهای دافعه در این pH و درنتیجه تشدید اتصال، تجمع و نهایتاً لخته شدن مولکول‌های پروتئین بیان داشت. تغییرات pH و تغییر در گروه‌های باردار می‌تواند به بهبود خاصیت آب‌گریزی سطحی کمک نماید. در pHهای قلیایی شدید نظیر ۹ حلالیت به میزان زیادی افزایش می‌یابد و باعث می‌شود پروتئین در فاز آبی از پایداری بیشتر برخوردار باشد در ادامه و با

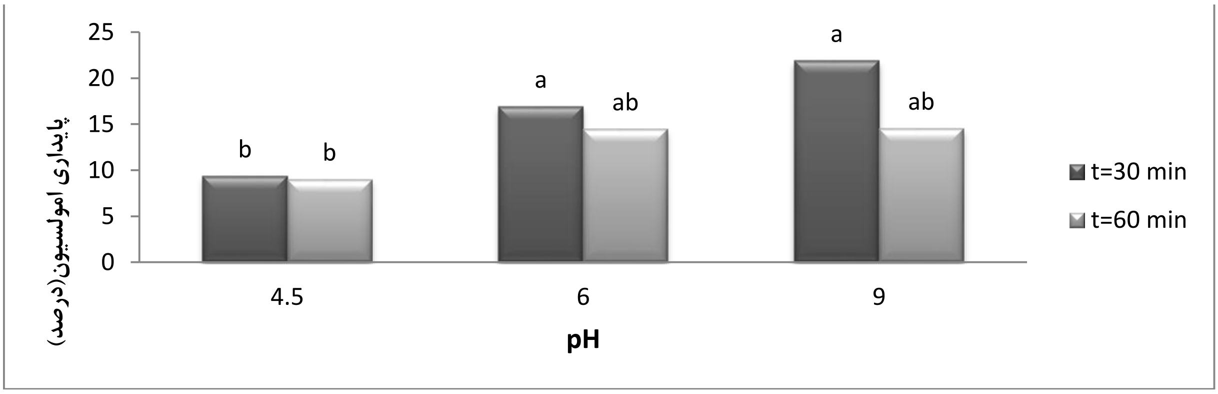
کاهش کشش سطحی نیز، منجر به افزایش پایداری امولسیون شود. علاوه بر این در pH های شدید قلیایی یا اسیدی، به دلیل دناتوره شدن پروتئین، چسبندگی بین فاز آب و چربی افزایش یافته و استحکام لایه بین آب و روغن بیشتر می‌شود (Lawal *et al*,. 2004). همچنین در این pHها به دلیل افزایش ویسکوزیته ناشی از واکنش‌های بین پروتئینی، استحکام فیلم پروتئینی تشکیل شده در فضای بین دو فاز افزایش یافته و در نهایت پایداری امولسیون افزایش می‌یابد (Lawal *et al*,. 2004). هرچه بار الکتریکی اطراف ذرات چربی زیاد باشد نیروهای دافعه، انعقاد آن‌ها را به تعویق می‌اندازند و بنابراین پایداری حاصل می‌گردد (Piornos *et al*,. 2015). ارتباط بین پایداری امولسیون و pH مانند رابطه بین حلالیت پروتئین و pH هست که با نتایج مطالعات Ragab و همکاران (۲۰۱۳) مطابقت داشت. Hungand Zayas (۱۹۹۱) عوامل متعددی شامل pH، اندازه ذرات، بار خالص، ویسکوزیته، تنش بین سطحی و ساختار پروتئین را بر پایداری امولسیون مؤثر می‌دانند.



شکل ۷- مقادیر پایداری امولسیون آرد کینوا واریته سفید در مقادیر مختلف pH و زمان



شکل ۸- مقادیر پایداری امولسیون آرد کینوا واریته سیاه در مقادیر مختلف pH و زمان



شکل ۹- مقادیر پایداری امولسیون آرد کینوا واریته قرمز در مقادیر مختلف pH و زمان

نتیجه‌گیری

در این پژوهش با هدف شناخت آرد سه واریته کینوا، به بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی و نیز ویژگی‌های عملکردی آرد حاصل از آن‌ها پرداخته شد. در بین سه واریته کینوا میزان پروتئین واریته سیاه (۱۶/۸۱٪) بیشتر از سایر واریته‌ها بود که می‌تواند به‌عنوان یک منبع پروتئینی بالقوه مورد بررسی‌های بیشتر قرارگیرد. همچنین خواص عملکردی آرد سه واریته کینوا و اثر pH بر این خواص مورد بررسی قرار گرفت که نتایج نشان داد آردهای حاصل دارای ویژگی‌های عملکردی مطلوب و قابل مقایسه با سایر حبوبات و شبه غلات می-باشند. علاوه بر این ویژگی‌های عملکردی آن‌ها تحت تأثیرpH بود و با دور شدن از نقطه ایزو الکتریک و افزایش حلالیت پروتئین، سایر ویژگی‌های عملکردی نیز روند افزایشی را نشان دادند. بنـابراین بـا تغییر pH، می‌توان برخی از خـواص را بـرای مـصارف خـاص، بهبود داد. آرد دانه کینوا می‌تواند به لحاظ تغذیه‌ای و تکنولوژیکی جایگزین بسیار خوبی برای آرد گندم باشدکه از این حیث ضمن تأمین امنیت غذایی جامعه، انحصار تولید به‌وسیله گندم را نیز از بین خواهد برد. انجام این پژوهش، گامی مؤثر در توسعه و تکمیل پروژه‌های بعدی در مورد، آرد کینوا هست که می‌تواند به‌عنوان جایگزین پروتئین‌های حیوانی و همچنین در تولید محصولات مناسب برای بیماران سلیاکی و افراد حساس به گلوتن در رژیم غذایی مردم کشورهای در حال توسعه مطرح باشد. آنچه اکنون ضروری به‌نظر می‌رسد، تمرکز بر ویژگی‌های حسی محصولات حاصل از آرد کینوا جهت ارتقا کیفیت محصولات تولیدی است.

منابع

AACC (2003b). American Association of Cereal Chemists.Approved Method 08-03,8th ed., St. Paul, MN, USA.

Adebowale, Y. A., Adeyemi, I. A., and Oshodi, A. A., 2005. Functional and physicochemical properties of flours of six Mucuna species. *African Journal of Biotechnology* 4 (12): 1461-1468.

Aluko, R.E. & Yada, R.Y. 1995. Structure-function relationship of cowpea (*Vigna unguiculata*) globulin isolate: influence of pH and NaCl on physicochemical and functional properties. *Food Chemistry*, 53: 259-265.

Ameri shahrabi, Badiei, ehsani, Maftoon, azad, sarmadi zadeh, 2011, Investigating the functional and Thermal Properties of Concentrate and Protein Isolated from Chickpea and Soybean, *Journal of Nutrition Sciences and Food Technology of Iran*,. (6) 49-58 (in Farsi)

Amza, T. Amadou, I. Zhu, K. and Zhou, H. 2011. Effect of extraction and isolation on physicochemical and functional properties of an underutilized seed protein: Gingerbread plum (*Neocarya macrophylla*). *Food Research International*, 44: 553 ‑ 559.

Arogundade L.A., Akinfenwa M.O., and Salawu A.A. 2004.Effect of NaCl and its partial or complete replacement with KCl on some functional properties of defatted Colocynthis citrullus L. seed flour. *Food Chemistry*, 84: 187–193.

Asadpour, A, Jafari, S.M, sadeghi A, ghorbani, m, 2010. Determination of soluble protein and water absorption capacity of flour from different beans, *Iranian Food Science and Technology Research Journal Vol*. 6, No. 3, Fall, 2010, p. 184-192 (in Farsi)

Asadpour, A, Jafari, S.M, sadeghi A, ghorbani, m, 2011, Determination of Emulsion and Fouling Capacity and Effect of Acidity and Ionic Power on the Properties of Different Flours from Different Beans,. *Iranian Food Science and Technology Research Journal* Vol. 7, No. 1, 2011, p. 80-91(in Farsi)

Bakhsh Moghaddam, F, Milani, A, Mortazavi, S.M, Meshkani, S.M (2010), .The Effect of Extraction Methods on Chickpea Protein Isolated Functional Properties, *Journal of Food Science and Technology*, Vol38, (10), 11-20(in Farsi)

Berghofer, E. and Schoenlechner, R. 2010. Pseudocereals–an overview. Departament of FoodScience and Technology, University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Vienna-Austria.

Boye J, Zare F, Pletch A. 2010. Pulse protein: Processing, characterization, functional properties and application in food and feed. *Food Research International* 43: 414–431.

Boye J.I., Aksay S., Roufik S., Ribéreau S., Mondor M., Farnworth E. Rajamohamed S.H. 2010.Comparison of the functional properties of pea, chickpea and lentil protein concentrates processed using ultra filtration and isoelectric precipitation techniques. *Journal of Food Research International* 43: 537 –546.

Dallagnol, A. M., Pescuma, M., De Valdez, G. F. and Rollán, G. "Fermentation of quinoa and wheat slurries by Lactobacillus plantarum CRL 778: proteolytic activity." *Appl Microbiol Biotechnol* 97 (2013): 3129-3140.

Damodaran, S. 1996. Functional properties. Food proteins: properties and characterization. VCH, New York, pp 167‑234.

Du, S., Jiang, H., Yu, X., Jane, J. 2012. Physicochemical and functional properties of whole legume flour. LWT - Food Science and Technology, 55, 308-313.

El Nasri, N. A., & El Tinay, A. H. 2007. Functional properties of fenugreek (*Trigonella foenum graecum*) protein concentrate. *Food Chemistry*, 103, 582–589.

FAO, Quinoa: "An ancient crop to contribute to world food security". Regional Office for Latin America and the *Caribbean*. July (2011).

Feizi, S, Varidi, M, zareie, F, varidi, M, 2013, Investigation Chemical Composition, Color Parameters and Functional Properties of Fenugreek Flour and Comparison with Soybean Flour, *Journal of Research and Innovation in Food Science and Technology*,. (2)2, 121-138 (in Farsi)

Ferreira, D. S., Pallone, J. A. L., and Poppi, R. J. "Direct analysis of the main chemical constituents in Chenopodium quinoa grain using Fourier transform near-infrared spectroscopy." *Food Control* 48 (2015): 91-95.

Ferreira, D. S., Pallone, J. A. L., and Poppi, R. J. "Direct analysis of the main chemical constituents in Chenopodium quinoa grain using Fourier transform near-infrared spectroscopy." *Food Control* 48 (2015): 91-95.

Hung, S. C., & Zayas, J. F. 1991.Emulsifying capacity and emulsionstability of milkproteins and corn germ protein flour. *Journal ofFood Science*, 56, 1216–1223.

Jancurová, M., Minarovicová, L. and Dandar, A. 2009. Quinoa–a review. *Czech Journal of Food Sciences*. 27(2): 71-79.

Joshi, A. U., Liu, C., Sathe, S. K. 2015. Functional properties of select seed flours.LWT - Food Science and Technology 60: 325-331.

Kanu, P. J., Kerui, Z., Ming, Z. H., Haifeng, Q., Kanu, J. B., and Kexue, Z. 2007. Sesame protein 11: Functional properties of sesame (*Sesamum indicum* L.) protein isolate as influenced by pH, temperature, time and ratio of flour to water during its production. *Asian Journal of Biochemistry*, 5: 289-301.

Kaur M, Singh Sandha K. 2010. Functional, thermal and pasting characteristics of flours from different lentil (Lens culinaris) cultivars. Journal of food science and technology-mysore 47(3):273–278.

Kaur, M., Singh, N.2007. Characterization of protein isolates from different Indian chickpea cultivars. *Food Chemistry*, 102: 366-74.

Kinsella, J. E. 1979. Functional properties of soy protein. Journal of American Oil Chemists Society, 56: 242–249.

Lawal, O. S. 2004, Functionality of African locust bean (*Parkia biglobossa*) protein isolate: effects of pH, ionic strength and various protein concentrations. *Journal of Food Chemistry*, 86: 345-355.

Lilian E. A. J. 2009. Chapter 1 Quinoa (*Chenopodium quinoa Willd*.): Composition, Chemistry, Nutritional, and Functional Properties. Advances in Food and Nutrition Research Volume 58, Pages 1-3

M. Taghizadeh, B. Shokrollahi, F.Hamedi, 2016 Evaluation the physicochemical and mechanical properties of bittervetch seed (*Viciaervilia*) and the functional properties of its flour, *Iranian Food Science and Technology Research Journal* Vol. 13, No. 1, p. 38- 52(in Farsi)

Majzoobi, M.., Abedi, E., Farahnaki, A., Aminlari, M. 2012. Functional properties of acetylatedglutenin and gliadin atvarying pH values. *Food Chemistry*, 133:1402‑1407.

Maruatona, G. N., Duodu, K. G., Minnaar, A. 2010. Physicochemical, nutritional and functional properties of marama bean flour. *Food chemistry*, 121, 400-405.

Oelk, E. A., Puntnam, D. H., Teynor, T. M., and E. S., Oplinger Feb 1992. Alternative Field Crops Manual, Quinoa. University of Wisconsin Extension, Cooperative Extension.

Oladele, A. K. and J. O. Aina (2007). "Chemical composition and functionalproperties of flour produced from two varieties of tigernut (Cyperusesculentus)." *African Journal of Biotechnology* 6(21): 2473-2476.

Owusu-Apenten, R. K. 2002. Food protein analysis Quantitative effects on processing. Marcel Dekker, Inc. Basel. New York.

Piornos, J. A., Burgos-Díaz, C., Ogura, T., Morales, E., Rubilar, M., Maureira-Butler, E., Salvo-Garrido, H. 2015. Functional and physicochemical properties of a protein isolate from AluProt-CGNA: A novel protein-rich lupin variety (*Lupinus luteus*). *Food Research International*, 76(3): 719–724.

Ragab, D. M., Babiker, E. E., & El Tinay, A. H. (2003). Fractionation, solubility and functional properties of cowpea (Vigna unguiculata) proteins as affected by pH and/or salt concentration. *Food Chemistry*, 84, 207–212.

Ravaghi, M, Mazaheri, M, Asoodeh, A., 2010, Evaluation of performance characteristics of four types of soybean flour in Iran, *Journal of Food Science and Technology*, Vol6, (3), 1-7(in Farsi)

Sathe, S. K., Salunkhe, D. K. 1981. Functional properties ofgreat northern bean proteins: emulsion, foaming, viscosity and gelation properties. *Journal of Food Science*, 46: 71-75.

Seena, S. K. Sridhar, R. 2005, Physiochemical, functional and cooking properties of Canavalia, *Journal of Food Chemistry*, 32: 406 – 412.

Sepahvand, N, Kahbazi, M, 2010, Quinoa, a valuable plant to food security and sustainable agriculture in Iran, 11th Iranian Congress of Plant Breeding and Plant Breeding, Research Institute of Environmental Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran,. Pp1811-1814 (in Farsi)

Shokrollahi, Mohebi, Varidi, M, 2013, Evaluation of the effect of temperature, frying time and the addition of lentil flour to batter formulation on the physicochemical and qualitative characteristics of fried crust using a shell model (DFCM),. *Iranian Food Science and Technology Research Journal* Vol. 10, No. 3, p. 266- 275 (in Farsi)

Traynham, T.L., Myers, D.J., Carriquiry, A.L., Johnson, L.A., and Amer, J. 2007. Evaluation of water holding capacity for wheat-soy flour blends. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 84: 151-155.

Vadivel, V. and Janardhanan K. 2001. Nutritional and anti-nutritional attributes of the under-utilized legume, Cassia floribunda Cav. *Food Chemistry* 73: 209-215.

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 17, No. 1, Apr. May. 2021, p. 13- 27

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۷، شماره ۱، فروردین-اردیبهشت ۱۴۰۰ ص.۲۷-۱۳

Study on physicochemical properties of Quinoa flour of three different varieties and the effect of pH on their functional characteristics

M. Taghizadeh*, H. Akhoondzadeh, Z. Zamani

Received: 2019.08.07
Accepted: 2020.01.15

Introduction: Grains are important food sources for human diet because of high protein content. There are different kinds of grains used as food worldwide. Today herbal proteins play an important role as food sources in societies. Herbal protein sources are actually strategic points for improving national dietary all over the world. (Mashayekh *et al,* 2008). Food experts are becoming more open to Quinoa, because of high protein content, (Dallagnol *et al.,* 2013). FAO compares Quinoa grain with concentered milk powder considering high nutritional facts, and called grains as multi vitamin (FAO, quinoa, 2011). According to scientific reports quinoa grain can be replaced with rice in national dietary (Ferreira et al, 2015. Oelk *et al.,* 1992). Quinoa originally cultivated in South America (barazil, Chile, Peru etc.) and known as semi-cereals (Schoenlechner&Berghofe2010).Furthermore, Quinoa flour is a highly nutritional alternative to feed animals as well as in the production of foods which are suitable for patients with celiac disease and gluten-sensitive patient worldwide. (Dallagnol et al, 2013). From the technological point of view, functional properties hold an important position, Water and oil absorption capacity, protein solubility, gelatinization capacity, foam ability and foam stability are the most important functional properties. (Kaur and Singh, 2007. Ameri shahrabi, 1390). Functional properties are affected by different parameters such as protein network structure, lipid, carbohydrate, temperature and pH, respectively. (Alukoand Yada, 1995). This study proposed to investigate the physicochemical properties of Quinoa flour of three different varieties and monitor the effect of pH on their functional characteristics

Materials and methods: three different variety of Quinoa grain, originated and cultivated in Peru, were used for experiments, varieties were black (*BLACK COLLANA*), white (*SALCEDO INIA*) and red (*PASANKALLA*), respectively. Grains were grind by 75 degree in mesh and refrigerated during storage. Carbohydrate, fat, ash, moisture content and protein were measured by AACC, (2003) methods. Functional properties were also measured using scientific methods, Owusu-Apenten, (2002), Kaur and Singh (2007) and customized Adebowale *et al,* (2005) method which used to measure protein solubility, Water and oil absorption capacity, foam ability and foam stability, respectively. Emulsion capacity and emulsion stability were measured using majzoobi *et al,* (2012) method.

Results and discussion: chemical properties are important in both technological and nutritional aspects, chemical characteristics were observed and reported for three studied varieties. Protein solubility known as the first criteria in protein functional properties (Asadpour *et al.,* 2010), this parameter is influenced by pH and the least value were observed in pH=4.5 (protein isoelectric point). Water and oil absorption capacity is one of the most important characteristics in flours (Kinsella, 1979), this parameter is a physical phenomenon which is known as oil or water confined in non-polar protein chains that is dependent on protein spatial shape. (Kinsella, 1979 ؛Kaur and Singh, 2007 ؛ Trayunham *et al.,* 2007) responses led to 1.285, 1.475 and 1.295 for white, red and black varieties, respectively. Foam ability and foamstability, actually known as volume increase caused by fast stirring and usually results in convenient rheological properties in products texture like ice cream and bread.this parameter refers to the ability of protein to make stable foam aginst mechanical and Gravitational stresses and measured in a 90 min. period of time (Oladela & Aina,2007) (Kinsella,1979). Least responses in this case were observed in pH=4.5 which is an isoelectric range of pH for protein chains. Results were corresponded by responses of El Nasri and El Tinay (2007), Lawal (2004), Taghizadeh et al, (2017) and Asadpour et al (2010) about other semi-cereal grains. Last metered parameter was emulsifying ability and emulsion stability, emulsifying in protein structure is an equilibrium between hydrophilic and hydrophobic parts of protein and affected by alkaline range of pH (Ragab *et al*., 2003) this parameter is influenced by protein solubility which is in the least measures in isoelectric point (Feizi *et al.,* 2013). Results had shown that foam stability would decrease during time passes. This may be due to the coupling of dispersed phase particles (oil droplets) over time. Concerning the effect of pH on emulsion stability, the results showed that the stability values at alkaline pH were higher than that of acidic pH, so that this stability at pH = 9 was significantly different from other pHs. Among the three

Dept. of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad, I.R. Iran.
(*Corresponding Author Email: mtaghizadeh@um.ac.ir)

varieties of quinoa, the amount of protein in the black variety (16.81%) was higher than the other varieties, which could be further investigated as a potential protein source. In addition, results indicate functional properties are influenced by pH, which means out of iso electric point, protein solubility increase and other fictional properties were improve followed.

Key words: Quinoa grain, physicochemical properties, functional properties